

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-142338

(43)公開日 平成5年(1993)6月8日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 1 S 13/34

識別記号

庁内整理番号

8940-5 J

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平3-310763

(22)出願日 平成3年(1991)11月26日

(71)出願人 000237592

富士通テン株式会社

兵庫県神戸市兵庫区御所通 1 丁目 2 番28号

(72)発明者 上村 正継

兵庫県神戸市兵庫区御所通 1 丁目 2 番28号

富士通テン株式会社内

(72)発明者 島 伸和

兵庫県神戸市兵庫区御所通 1 丁目 2 番28号

富士通テン株式会社内

(72)発明者 安木 寿教

兵庫県神戸市兵庫区御所通 1 丁目 2 番28号

富士通テン株式会社内

(74)代理人 弁理士 青木 朗 (外 4 名)

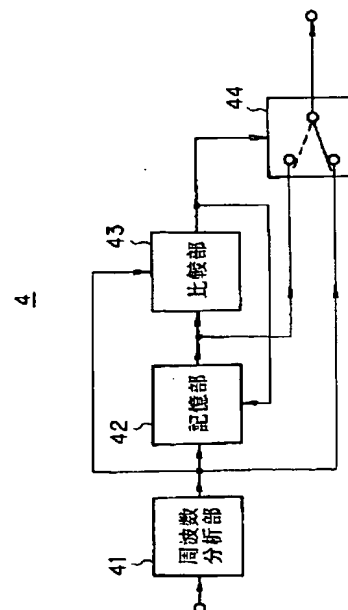
(54)【発明の名称】 ミリ波レーダ距離速度測定装置

(57)【要約】

【目的】 本発明は連続波レーダの送信信号に周波数変調を施し同時に目標からの反射信号を受信して距離、速度を測定するに際し、ノイズ等により測定されるビート信号のピーク周波数がバラツキ、このため距離及び速度が不安定になるのを防止することを目的とする。特に本発明では複数の目標に対する信号処理装置に言及する。

【構成】 ミリ波レーダ距離速度測定装置において、ビート信号を周波数分析して周波数変調の周波数の上昇側及び下降側でそれぞれピーク周波数を求め、今回のピーク周波数が前回のピーク周波数を中心とする所定幅の範囲にあるときには、今回のピーク周波数を距離及び速度を、今回のピーク周波数が上記所定幅の範囲にないときには、前回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用いる。複数の目標に対する上昇側及び下降側でのピーク周波数について、同様にして求める。測定する間の速度を一定として、今回の周波数を予測し、これを前回のピーク周波数として用いる。

図1に示す信号処理部の構成を示す図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 連続波レーダの送信信号の送信信号に周波数変調を施して適当に繰り返して行い、受信信号と送信信号とのビート信号から距離及び速度を求めるミリ波レーダ距離速度測定装置において、

前記ビート信号を周波数分析して前記周波数変調の周波数の上昇側及び下降側でそれぞれピーク周波数を求め、今回のピーク周波数が前回のピーク周波数を中心とする所定幅の範囲にあるときには、該今回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用い、該今回のピーク周波数が上記所定幅の範囲にないときには、該前回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用いることを特徴とするミリ波レーダ距離速度測定装置。

【請求項 2】 複数の目標に対する上昇側及び下降側でのピーク周波数について、該今回のピーク周波数が該前回のピーク周波数を中心とする所定幅の範囲にあるときには、該今回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用い、該今回のピーク周波数が上記所定幅の範囲にないときには、該前回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用いる請求項 1 記載のミリ波レーダ距離速度測定装置。

【請求項 3】 該今回のピーク周波数と該前回のピーク周波数とを測定する間の速度を一定として、該今回の周波数を予測し、該今回の周波数と該予測値を比較して、該今回のピーク周波数が該前回のピーク周波数を中心とする該所定幅の範囲にあるときには、該今回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用い、該今回のピーク周波数が上記所定幅の範囲にないときには、該前回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用いる請求項 1 記載のミリ波レーダ距離速度測定装置。

【請求項 4】 受信信号と送信信号とのビート信号から得られた過去の複数の距離及び速度からそれぞれ線型予測により今回の距離及び速度を求め、この距離及び速度から今回の上昇側及び下降側の予測ピーク周波数を推測する請求項 3 記載のミリ波レーダ距離速度測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

\*

$$f = \{f_u(u p) + f_d(d o w n)\} / 2 \quad \cdots (5)$$

$$f_p = \{f_u(u p) - f_d(d o w n)\} / 2 \quad \cdots (6)$$

として信号を処理して、すなわちこの  $f$ 、 $f_p$  から目標の距離と速度をそれぞれ別々に求めることができる。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 ところで従来のミリ波レーダ距離速度測定装置では目標が単一の場合には、上述のビート信号の波形が正弦波をなすため、このビート信号をパルスカウンタして距離等が数十 msec 毎に計測されていた。しかしながら従来のミリ波レーダ距離速度測定装置を、例えば自動車に搭載して使用し計測結果を出すのに瞬間、瞬間の実データのみで計算すると移動する目標の数による上記正弦波が歪みや、目標での反射状態により、該ビート信号の計測結果にバラツキが生じて速

## \* 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は連続波レーダの送信信号に周波数変調を施し同時に目標からの反射信号を受信して距離、速度を測定するためのミリ波レーダ距離速度測定装置に関する。特に本発明ではノイズ等により測定されるビート信号のピーク周波数がバラツキ、このため距離及び速度が不安定になるのを防止することを目的とする。

## 【0002】

【従来の技術】 従来このような分野のミリ波レーダ距離速度測定装置に関する技術としては、「レーダ技術」

(社団法人：電子情報通信学会)に記載されたものがあった。連続波レーダの送信信号の送信信号に周波数変調を施して適当に繰り返して行い、受信信号とビートをとると、ビート周波数  $f$  は、

$$f = 4 R \cdot f_m \cdot \Delta f / c \quad \cdots (1)$$

として表せる。ここに  $R$  は目標までの距離、 $f_m$  は周波数変調の繰り返し周波数、 $\Delta f$  は周波数偏移幅、 $c$  は光速を表す。従ってビート周波数  $f$  が得られると目標までの距離が求められる。

【0003】 次に目標が移動している場合には、ドップラ効果により送信信号と受信信号との関係では、ビート信号周波数  $f$  は、固定した目標の場合のビート信号周波数  $f$  にドップラ周波数  $f_p$  が重畳し、その方向が各変調サイクル毎に上昇 ( $u p$ ) 又は降下 ( $d o w n$ ) を交互に変わり、ドップラ周波数  $f_p$  を、

$$f_p = 2 \cdot f_0 \cdot V / c \quad \cdots (2)$$

ここで  $f_0$  は送信中心周波数で  $f_0 = N / f_s$ 、 $N$  : FFT (高速フーリエ変換器) のポイント数、 $f_s$  : サンプリング周波数、 $V$  : 目標との相対速度と表し、とすると、すなわち目標に対してビート信号の上昇側及び下降がわの周波数は下記のように表せる。

$$\text{【0004】 } f_u(u p) = f - f_p \quad \cdots (3)$$

$$f_d(d o w n) = f + f_p \quad \cdots (4)$$

したがって変調の各半サイクル毎に、 $f_u(u p)$  と  $f_d(d o w n)$  を別々に測定すれば、

度及び距離表示が不安定になるという問題がある。

【0006】 したがって本発明は上記課題に鑑みビート信号の計数測定にバラツキを防止して距離及び速度を安定に表示できるミリ波レーダ距離速度測定装置を提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明は前記問題点を解決するために、連続波レーダの送信信号の送信信号に周波数変調を施して適当に繰り返して行い、受信信号と送信信号とのビート信号から距離及び速度を求めるミリ波レーダ距離速度測定装置において、前記ビート信号を高速フーリエ変換器 (FFT) を用いて周波数分析して前

記周波数変調の周波数の上昇側及び下降側でそれぞれピーク周波数を求める。このピーク周波数分析は変調周期毎に連続的に行われる。今回のピーク周波数が前回のピーク周数波数を中心とする所定幅の範囲にあるときには、該今回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用い、該今回のピーク周波数が上記所定幅の範囲にないときには、該前回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用いる。また、複数の目標に対する上昇側及び下降側でのピーク周波数についても同様に、該今回のピーク周波数が該前回のピーク周数波数を中心とする所定幅の範囲にあるときには、該今回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用い、該今回のピーク周波数が上記所定幅の範囲にないときには、該前回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用いる。さらに、該今回のピーク周波数と該前回のピーク周数波数とを測定する間の速度を一定として、該今回の周波数を予測し、該今回の周波数と該予測値を比較して、該今回のピーク周波数が該前回のピーク周数波数を中心とする該所定幅の範囲にあるときには、該今回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用い、該今回のピーク周波数が上記所定幅の範囲にないときには、該前回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用いる。逆に過去の複数の距離及び速度からそれぞれ線型予測により今回の距離及び速度を求め、この距離及び速度から今回の上昇側及び下降側のピーク周波数を予測するようにしてもよい。

#### 【0008】

【作用】本発明のミリ波レーダ距離速度測定装置によれば、今回のピーク周波数が前回のピーク周数波数を中心とする所定幅の範囲にあるときには、該今回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用い、該今回のピーク周波数が上記所定幅の範囲にないときには、該前回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用いることにより、ビート信号のFFTの結果がノイズ等の影響でバラツキても一度目標を捕らえたと、それを基準にピーク周波数を対応をとるため安定した距離及び速度を得ることができる。また同一目標を捕らえているという情報も得ることができる。複数の目標に対する上昇側及び下降側でのピーク周波数についても同様にすることにより、FFTで捕らえられた全てのピーク周波数に対して安定した距離及び速度を導出できる。さらに、該今回のピーク周波数と該前回のピーク周数波数とを測定する間の速度を一定として、該今回の周波数を予測し、該今回の周波数と該予測値を比較するようにしたので、前回のピーク周波数がノイズ等で連続してバラツキても予測値により安定して、その後にノイズ等がなくなってもその間のピーク周波数を予測しているため今回のピーク周波数を上記所定幅の範囲に捕らえてその後も安定して距離及び速度を提供できる。過去の複数の距離及び速度から今回の上昇側及び下降側のピーク周波数を予測するこ

とによって予測精度が向上する。

#### 【0009】

【実施例】以下本発明の実施例について図面を参照して説明する。図1は本発明の実施例に係るミリ波レーダ距離速度測定装置の全体構成を示す図である。本図に示すミリ波レーダ距離速度測定装置は、三角波変調の連続波信号を送信しこれと目標で反射した受信信号とを混合してビート信号を形成するセンサ1と、サンプリングしたときに該センサ1の信号が折り返しをおこさないように高域信号を除去する低域通過フィルタ2と、該低域通過フィルタ2からのアナログ信号をデジタル信号に変換するA/D (Analog to Digital Converter)変換器3と、該A/D変換器3からのデジタル信号に変換されたビート信号を周波数分析し、距離及び速度の信号に処理するためにDSP (Digital Signal Processor)で構成される信号処理部4と、該信号処理部4で得られた距離及び速度データを表示するための制御を行うコントローラ5と、該コントローラ5で制御されたデータを表示する表示部6とを含む。

【0010】図2は図1のセンサの出力信号の形成を示す図である。本図(a)の実線で示すように、センサ1から三角波変調の連続の送信信号が送信され、点線で示すように目標で反射された信号がセンサ1で受信される。さらに本図(b)に示すように、三角波変調の上昇側でビート信号f<sub>u</sub>と下降側でビート信号f<sub>d</sub>が図示しない混合器で形成される。なお、本図に用いられている記号、符号は従来技術で説明したものと同様である。

【0011】図3は図1に示す信号処理部の構成を示す図である。本図に示すように、該信号処理部4は、周波数変調の繰返し周波数f<sub>m</sub>に関して単位時間1/f<sub>m</sub>とした間隔で該A/D変換器3からのビート信号の周波数をFFT (高速フーリエ変換器)で分析する周波数分析部41と、該周波数分析部41で分析されて求められたビート信号の分析結果である上昇側及び下降側のピーク周波数A<sub>u</sub>及びA<sub>d</sub>を記憶する記憶部42と、該周波数分析部41からのピーク周波数と該記憶部42からの前回のピーク周波数を比較する比較部43と、通常は該周波数分析部41からの信号を出力し該比較部43からの制御信号があったときに該記憶部42からの出力信号を出力するスイッチ部44とを含む。

【0012】図4は図3に示す信号処理部による信号処理のフローチャートである。本図に示すように、該周波数分析部41でピーク周波数が求められ(ステップ1)、該記憶部42で該ピーク周波数が記憶更新される(ステップ2)。該比較部43では、該周波数分析部41からの今回入力したA<sub>u</sub>(T)及びA<sub>d</sub>(T)と該記憶部42からの前回入力したA<sub>u</sub>(T-1)及びA<sub>d</sub>(T-1)とを比較して、下記式が満たされるか否かを判断する。

#### 【0013】

5

$$A u (T-1) - \Delta \leq A u (T) \leq A u (T-1) + \Delta \quad \cdots (7)$$

$$A d (T-1) - \Delta \leq A d (T) \leq A d (T-1) + \Delta \quad \cdots (8)$$

ここでTは上述の単位時間  $1/f_m$  により計測される時間である。さらにΔは該単位時間  $1/f_m$  の間に目標が相対的に移動するとによって変化し得る該  $A u (T)$  及び  $A d (T)$  の変化量やノイズを考慮して決定され、例えばΔを距離に換算すれば約2mに設定してもよい(ステップ3)。これは自動車間の相対速度を例えば100Km/、 $1/f_m = 50 \text{ msec}$  としてこの間に目標が移動する距離が約1.4mに相当することに対応する。

上記式が満たされれば、後段に今回入力した  $A u (T)$ 、 $A d (T)$  が送出される(ステップ4)。逆に上記式が満たされなければ、今回入力した  $A u (T)$ 、 $A d (T)$  に代わって前回入力した  $A u (T-1)$ 、 $A d (T-1)$  が該スイッチ部44によって後段に送出される(ステップ5)。この場合には、該記憶部42では該  $A u (T)$ 、 $A d (T)$  に代わって  $A u (T-1)$ 、 $A d (T-1)$  が記憶されつぎの比較の基準になる。

【0014】図5は図4のフローチャートで処理される信号の状態を示す図である。本図は上記信号処理を理解し易くするため上昇側についてのみ説明するものであり、本図を参照しながら要約すれば、前回の信号と比較して今回の信号が所定幅にあれば、今回の信号が正しいと判断これを用いるが今回の信号が所定幅になければノ\*

$$\begin{array}{ccccccc} t & : & T & T+1 & T+2 & T+3 \\ \text{目標A:} & (A u, A d) & (a 1, x 1) & (a 2, x 2) & (a 3, y 3) \\ \text{目標B:} & (B u, B d) & (b 1, y 1) & (c 2, z 2) & (c 3, z 3) \end{array}$$

上式(5)、(6)により、それぞれの組み合わせで  $f$ 、 $f_p$  を求め、これより距離、速度が安定して得られる。図6において上昇側にある  $b 1$ 、 $b 2$  は目標A、Bにも属さず、新たな目標とも解されるが、下降側に対応するピーク周波数がないのでノイズと判断される。かくして従来では測定された複数のピーク周波数がある場合にはどの目標に属するか否かを判断が困難であったが本実施例により同一目標に対するものであることが安定して認識できるようになった。

【0017】以上の説明では今回のピーク周波数と前回※

$$R = (c / (4 \cdot \Delta f)) \cdot (N / f_s) \cdot (f_u + f_d) \quad \cdots (9)$$

$$V = (c \cdot f_s) / (4 \cdot f_0 \cdot N) \cdot (N / f_s) \cdot (f_u - f_d) \quad \cdots (10)$$

なお下線部分はFFT周波数分解能で正規化される。

【0019】したがって距離R、速度Vは下記のように省略されて表せる。

$$R = a \cdot (f_u + f_d) \quad \cdots (11)$$

$$a = (c / (4 \cdot \Delta f)) \cdot (N / f_s) \quad \cdots (13)$$

$$b = (c \cdot f_s) / (4 \cdot f_0 \cdot N) \cdot (N / f_s) \quad \cdots (14)$$

そこで速度Vを一定として、前回から今回までの測定時間を  $\Delta t$  とすると距離R0は下記式で表せる。

$$R_0 = V \cdot \Delta t + R \quad \cdots (15)$$

よって今回得られる上昇側及び下降側のピーク周波数を

6

\*ノイズの影響を受けているとして除外する。したがって、目標が一度捕らえられ、それを基準に周波数のピークの対応をとるため結果を安定して捕らえることができかつ同じ目標をとらえているという情報をも得ることができる。

【0015】以上の説明では目標が単一の場合を対象としたが、目標が複数の場合であっても適用できる。以下にその説明を行う。  $t = T$  のとき目標A、Bがとらえられ、そのピーク周波数を  $(A u, A d)$ 、 $(B u, B d)$  であったとする。図6は複数の目標の場合に処理される信号の状態を示す図である。本図では上昇側のピーク周波数について示し、  $t = T+1$  でのピーク周波数  $a 1$ 、 $b 1$  が得られ、 $A u (T) - \Delta \leq a 1 \leq A u (T) + \Delta$  を満たすのでピーク周波数  $a 1$  は目標Aに対応する。同様に、 $b 1$  も目標Bに対応する。以下  $t = T+2$ 、 $T+3$  のとき、 $a 2$  は目標A、 $c 2$  は目標B、 $a 3$  は目標A、 $c 3$  は目標Bに対応する。下降側についても同様の処理を行い、目標Aに対応するものが順に  $x 1$ 、 $x 2$ 、 $y 3$ 、目標Bに対応するものが  $y 1$ 、 $z 2$ 、 $z 3$  であったとすると下記ようになる。

【0016】

※のピーク周波数とを直接比較したが、今回のピーク周波数が連続してノイズによると判断され、前回のピーク周波数が更新されないため、次に今回のピーク周波数がノイズによるものではなく真のものでも上記Δの範囲に入らなくなる虞がある。したがって前回のピーク周波数から下記のように今回のピーク周波数を予測して、該予測値と今回のピーク周波数とを比較する。

【0018】上記式(5)、(6)より、直接距離、速度を求めると下記ようになる。

$$\star V = b \cdot (f_u - f_d) \quad \cdots (12)$$

ここで  $a$ 、 $b$  は(9)、(10)式から得られる定数である。

それぞれ  $f_{u1}$  及び  $f_{d1}$  とすると、 $R_0$ 、 $V$  は下記式になる。

$$R_0 = a \cdot (f_{u1} + f_{d1}) \quad \cdots (16)$$

$$V = b \cdot (f_{u1} - f_{d1}) \quad \cdots (17)$$

7

8

これより、

$$(f_{u1} + f_{d1}) = R_0 / a \quad \cdots (18) \quad * \quad \text{ここで、} \quad * (f_{u1} - f_{d1}) = V / b \quad \cdots (19)$$

$$R_0 = a \cdot (f_u + f_d) + \Delta t \cdot b \cdot (f_u - f_d) \quad \cdots (20)$$

したがって、(18)、(19)式より、

$$\begin{aligned} f_{u1} &= 1/2 \cdot (R_0 / a - V / b) \\ &= 1/2 \cdot (f_u + f_d + (b/a) \cdot \Delta t \cdot (f_u - f_d) \\ &\quad - (f_u - f_d)) \\ &= f_u + (b/2a) \cdot \Delta t \cdot (f_u - f_d) \quad \cdots (21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{d1} &= 1/2 \cdot (R_0 / a + V / b) \\ &= 1/2 \cdot (f_u + f_d + (b/a) \cdot \Delta t \cdot (f_u - f_d) \\ &\quad + (f_u - f_d)) \\ &= f_d + (b/2a) \cdot \Delta t \cdot (f_u - f_d) \quad \cdots (22) \end{aligned}$$

この予測値  $f_{u1}$  及び  $f_{d1}$  を図3の例えば比較部43で演算させて、これを前回のピーク周波数として今回のピーク周波数と比較するようにしてもよい。かくして目標に対するピーク周波数の測定の安定性が増加する。

【0021】次に予測値  $f_{u1}$  及び  $f_{d1}$  の精度を向上する手段について説明する。ビート信号のFFTの結果ではノイズ等の影響でバラツキがあり一方実際得られるべき結果についてその変化が小さいものである。したがって、過去のデータ又は結果を数ブロック分フィルタ処理してその結果のデータを組み合わせて計測の安定を図る手段について以下に説明する。

【0022】図7は(11)及び(12)式から得られた速度信号Vから予測速度信号V0を推定する回路を示す。本図(a)に示す回路は、FIRフィルタで構成され、例として単位時間  $1/f_m$  だけ信号をそれぞれ遅延するために直列接続する4つの遅延器と、各該遅延器の出力に接続され、各計数  $1/4$  を有する乗算器と、各該乗算器の出力を加算する加算器からなり、これによって本図(b)に示すように、過去の時間  $T-4$ 、 $T-3$ 、 $T-2$  及び  $T-1$  の速度信号からTにおける速度信号V0を予測できる。

【0023】図8は(11)及び(12)式から得られた距離信号R0から予測距離信号R00を推定する回路を示す。本図(a)に示す回路は、FIRフィルタで構成され、例として単位時間  $1/f_m$  だけ信号をそれぞれ遅延するために直列接続する4つの遅延器と、入力側から第一段の遅延器の出力及び最終段の遅延器の出力に接続され、各計数  $1/3$  及び  $4/3$  を有する乗算器と、各該乗算器の出力を加算する加算器とからなり、これによって本図(b)に示すように、過去の距離信号によるデータが短時間では直線性を有するものとして、過去の時間  $T-4$ 、 $T-3$ 、 $T-2$  及び  $T-1$  の速度信号からTにおける距離信号R00を予測できる。こうにして得られた速度信号V0及び距離信号R00について(16)及び(17)から  $f_{u1}$  及び  $f_{d1}$  を求めることにより、さらに予測値の精度が向上することになる。

【0024】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、今

回のピーク周波数が前回のピーク周波数を中心とする所定幅の範囲にあるときには、該今回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用い、該今回のピーク周波数が上記所定幅の範囲にないときには、該前回のピーク周波数を距離及び速度を導出するために用いるようにしたので、安定した距離及び速度を得ることができる。また複数の目標に対する上昇側及び下降側でのピーク周波数についても同様に各目標にたいしても同様の効果がえられる。さらに、該今回のピーク周波数と該前回のピーク周波数とを測定する間の速度を一定として、該今回の周波数を予測し、該今回の周波数と該予測値を比較するようにして前記と同様に距離及び速度を得るようにしたので、安定度が増加する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例に係るミリ波レーダ距離速度測定装置の全体構成を示す図である。

【図2】図1のセンサの出力信号の形成を示す図である。

【図3】図1に示す信号処理部の構成を示す図である。

【図4】図3に示す信号処理部による信号処理のフローチャートである。

【図5】図4のフローチャートで処理される信号の状態を示す図である。

【図6】複数の目標の場合に処理される信号の状態を示す図である。

【図7】(18)及び(19)式に用いられている速度信号Vを求める回路を示す。

【図8】(18)及び(19)式に用いられている距離信号R0を求める回路を示す。

【符号の説明】

- 1…センサ
- 2…低域通過フィルタ
- 3…A/D変換器
- 4…信号処理部
- 5…コントローラ
- 6…表示器
- 41…周波数分析部
- 42…記憶部

4 3 … 比較部

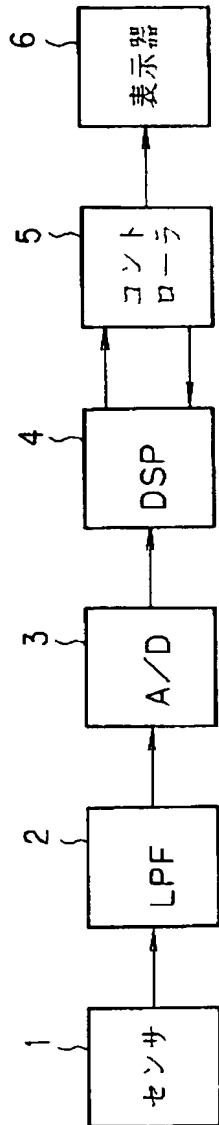
4 4 … スイッチ部

【図1】

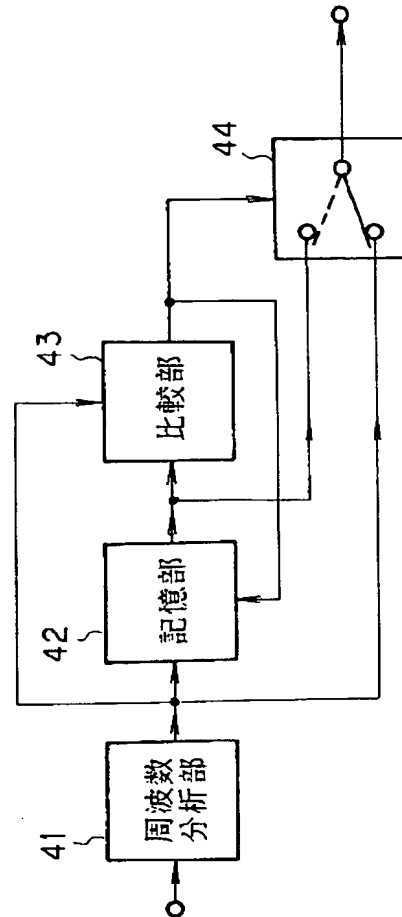
【図3】

本発明の実施例に係るミリ波レーダ距離速度測定装置の全体構成を示す図

図1に示す信号処理部の構成を示す図



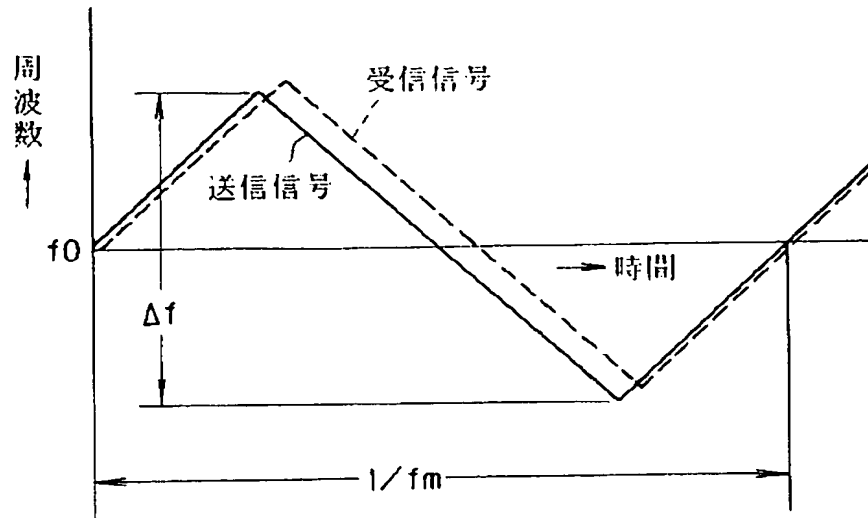
4



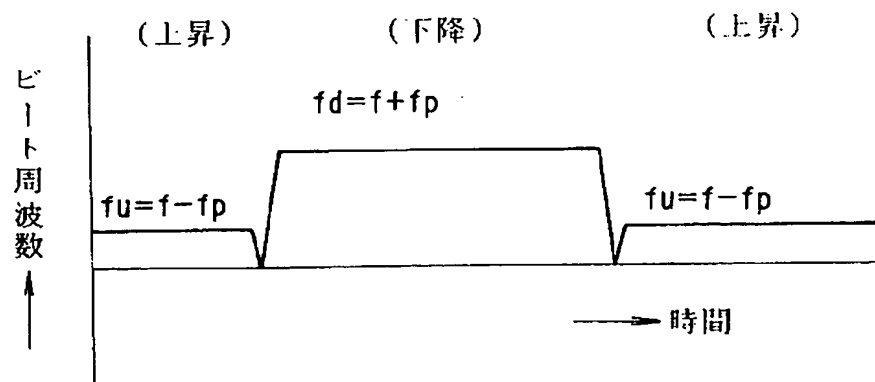
【図2】

図1のセンサの出力信号の形成を示す図

(a)

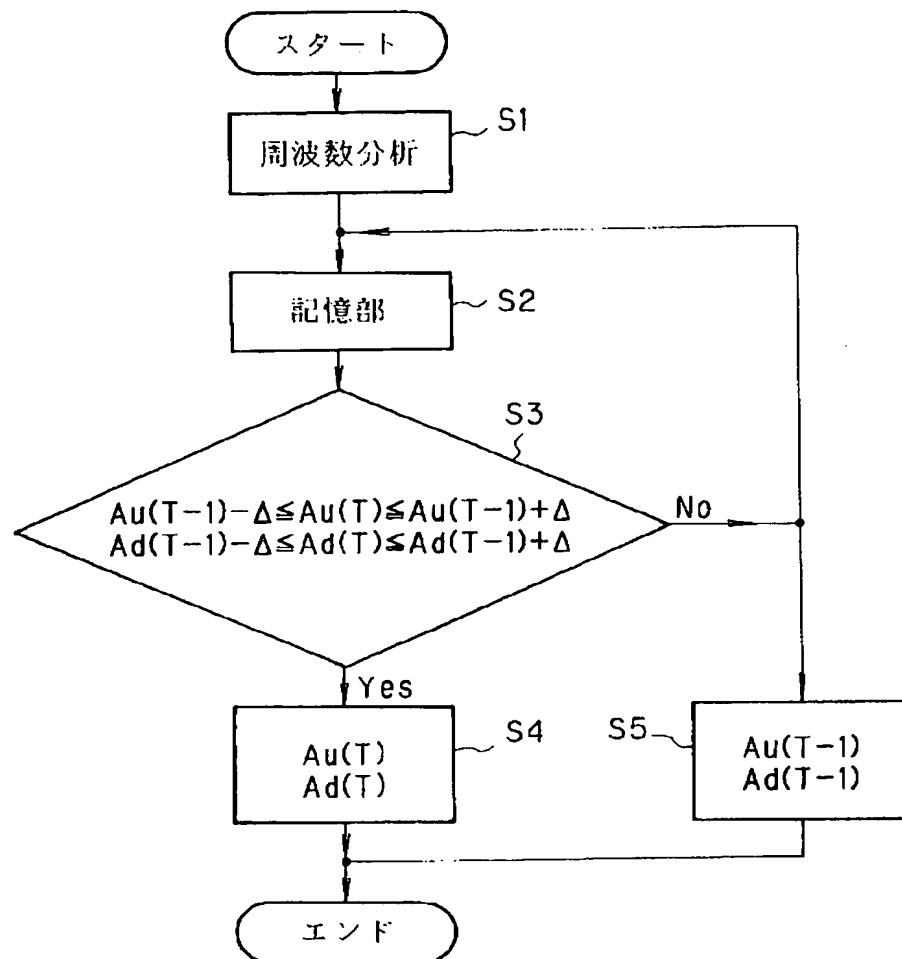


(b)



【図4】

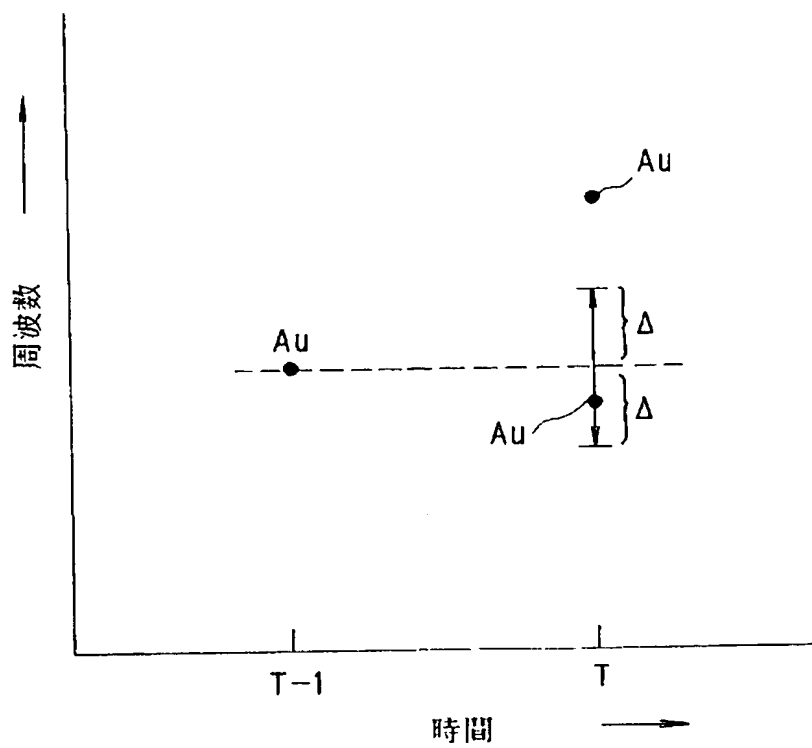
図3に示す信号処理部による信号処理のフローチャート





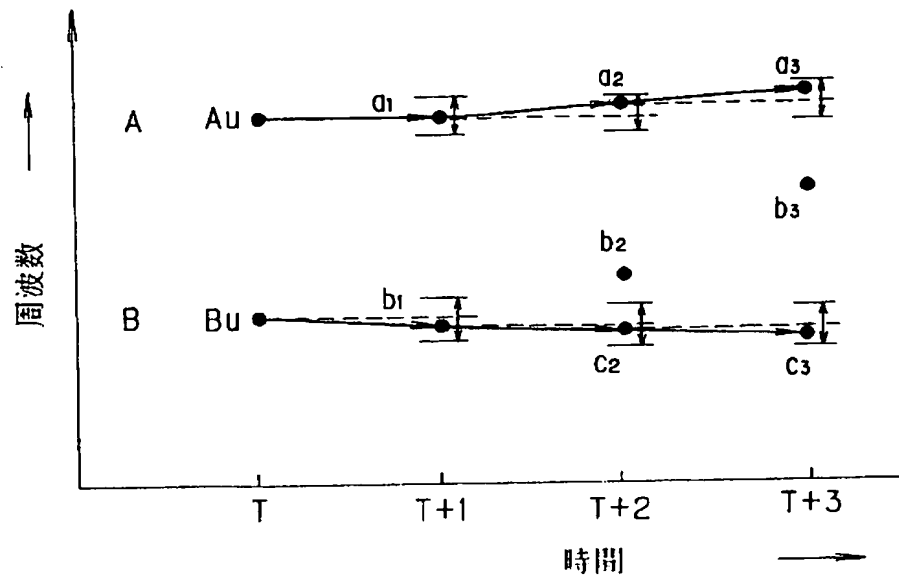
【図5】

図4のフローチャートで処理される信号の状態を示す図



【図 6】

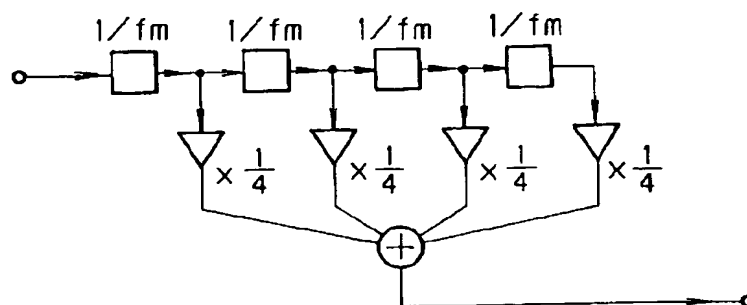
複数の目標の場合に処理される信号の状態を示す図



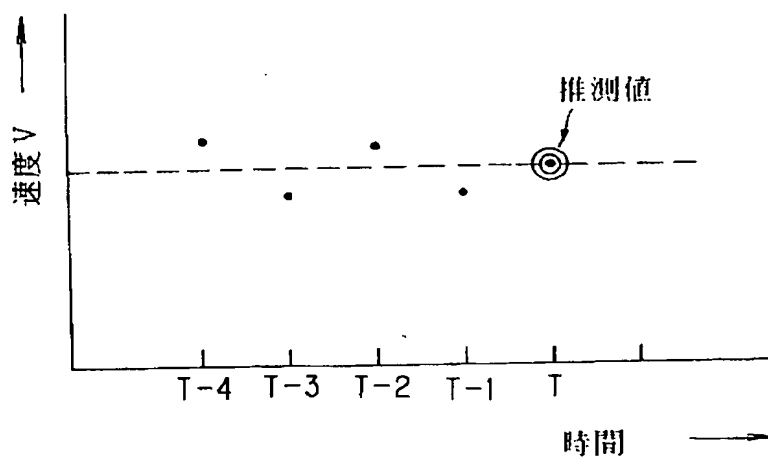
【図7】

(11) 及び (12) 式から得られた速度信号  $V$  から  
予測速度  $V_O$  を推定する回路

(a)



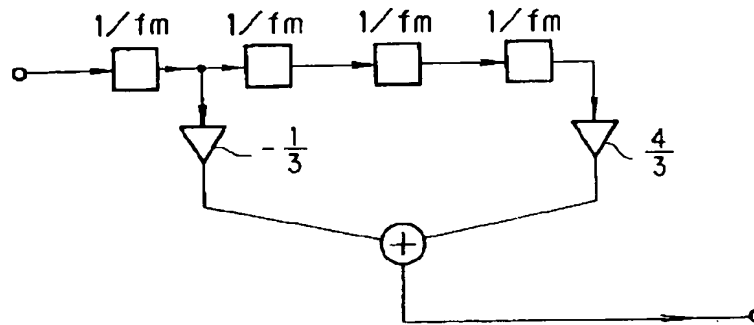
(b)



【図8】

(11)及び(12)式から得られた距離信号 $R_O$ から  
予測信号 $R_{OO}$ を推定する回路

(a)



(b)

